

# 矯正用超弾性Ni-Ti合金ワイヤーの温度変化に伴う力学挙動と相変態(北海道医療大学博士論文の内容および審査の結果要旨(平成10年度))

著者名(日)	飯嶋 雅弘
雑誌名	東日本歯学雑誌
巻	18
号	1
ページ	263-265
発行年	1999-06-30
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1145/00008439/">http://id.nii.ac.jp/1145/00008439/</a>

氏名・(本籍)	飯 嶋 雅 弘 (千葉県)
学位の種類	博 士 (歯学)
学位記番号	甲 第58号
学位授与の日付	平成10年 3 月20日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 (課程博士)
学位論文題目	矯正用超弾性Ni-Ti合金ワイヤーの温度変化に伴う力学挙動と相変態
論文審査委員	主 査 教 授 溝 口 到 副 査 教 授 松 田 浩 一 副 査 教 授 大 野 弘 機

## 論 文 内 容 の 要 旨

### I. 目 的

Ni-Ti合金ワイヤーは、超弾性特性によりほぼ一定の矯正力を発揮する利点を有し、広く矯正臨床に用いられている。しかし、Ni-Ti合金ワイヤーには、口腔内の温度変化により矯正力が変動するという問題点がある。この環境温度の変化に伴う荷重変動には、応力誘起マルテンサイト変態、熱弾性マルテンサイト変態、さらにRhombohedral phase (R相) 変態が複雑に関与していると考えられる。しかし、Ni-Ti合金ワイヤーに関して、力学特性の変化と相変態との関係を定量的に検討した報告はない。そこで本研究では、三種類のNi-Ti合金ワイヤーについて、示差走査熱量測定で変態挙動を検討するとともに、三点曲げ試験と微小領域X線回折測定を行い、たわみ負荷状態で環境温度を変えた場合における荷重変動と相変態率の関係を明らかにした。

### II. 実験材料および方法

#### 1. 実験材料

本研究では、三種類の超弾性Ni-Ti合金ワイヤー(Ni-Ti-Cr, Ni-Ti, およびNi-Ti-Cu-Cr)を実験試料として用いた。

#### 2. 示差走査熱量測定 (DSC)

DSCにより、各試料の変態点を計測し、熱的変態挙動を調べた。なお測定温度範囲は $-100 \sim +100^{\circ}\text{C}$ で、昇・降温速度は $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ とした。

#### 3. 三点曲げ試験

三点曲げ試験は、一定温度の水を循環させることによ

り温度制御可能なアクリル制装置の中で行った。荷重の測定は、ロードセルで行い、試験片のスパンは14mmとした。試験は、三種類の一定温度条件( $25^{\circ}\text{C}$ ,  $37^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ )下で曲げたわみを与える場合と、三種類の一定曲げたわみ(1.6mm, 2.5mm, 3.5mm)下で温度を変化( $25^{\circ}\text{C} \rightarrow 37^{\circ}\text{C} \rightarrow 60^{\circ}\text{C}$ )させる場合について行った。これらの試験は各条件について5回行った。

#### 4. 微小領域X線回折

各ワイヤーの微小領域X線回折は、ワイヤーに $135^{\circ}$ ,  $146^{\circ}$ ,  $157^{\circ}$ の3種類の曲げを付与した状態で行った。なお3種類の曲げ角度は、三点曲げ試験のたわみ量(1.6mm, 2.5mm, 3.5mm)の負荷に対応するように算出した。また、試料台は通電により温度を変えることが可能であり、実験に際しては、まず室温( $25^{\circ}\text{C}$ )での測定を行った後、引き続き $37^{\circ}\text{C}$ ,  $60^{\circ}\text{C}$ に温度を上げ測定した。測定はワイヤーの引張側と圧縮側で行い、各温度条件下で同一の測定ポイントを設定した。試料数は全ての条件について5本とした。

### III. 結果および考察

#### 1. DSC測定から得られた変態点と変態挙動

Ni-Ti-CrワイヤーとNi-Tiワイヤーでは、2段階の変態挙動が存在し、マルテンサイト組とオーステナイト相の中間相であるR相が認められた。一方、Ni-Ti-Cu-Crワイヤーは、マルテンサイト相からオーステナイト相へ直接に変態する挙動を示した。各ワイヤーの $A_f$ 点は、Ni-Ti-Crワイヤーが $16^{\circ}\text{C}$ 、Ni-Tiワイヤーが $22^{\circ}\text{C}$ 、Ni-Ti-Cu-Crワイヤーが $37^{\circ}\text{C}$ であった(以降、それぞれを $A_f16^{\circ}\text{C}$

ワイヤー,  $A_f 22^\circ\text{C}$ ワイヤー,  $A_f 37^\circ\text{C}$ ワイヤーとする)。以上から,  $A_f 37^\circ\text{C}$ ワイヤーは, 試験温度 $25^\circ\text{C}$ において形状記憶特性を有するものと考えた。

## 2. 三点曲げ試験による力学特性

### 1) 一定温度条件下における力学挙動

全ての試験温度において, 各ワイヤーのA点荷重(1.6 mmたわませた時の荷重)は $A_f$ 点が低いワイヤーほど高かった。この現象は, 応力誘起マルテンサイト変態の臨界応力が $A_f$ 点の低いワイヤーほど高いということを反映しているものと考えられた。また,  $A_f 37^\circ\text{C}$ ワイヤーは, 試験温度 $25^\circ\text{C}$ において顕著に低い荷重を示し, 形状記憶(マルテンサイト相)領域に存在するものと考えられた。

### 2) 温度変化に伴う力学挙動

全てのワイヤーにおいて, 試験温度の上昇に伴い荷重が上昇した。たわみ(1.6 mm)を負荷したワイヤーについて, 試験温度の上昇に伴い増加した荷重は, 一定温度条件下で測定したA点の荷重より小さかった。このことから, 温度変化に伴う変態は, 曲げ応力下において抑制されることが示された。

## 3. 微小領域X線回折測定による相変態

$A_f 37^\circ\text{C}$ ワイヤーでは, 試験温度 $25^\circ\text{C}$ においてマルテンサイト相の回折ピークが認められたが, 試験温度を $37^\circ\text{C}$ に上昇させると, マルテンサイト相の回折ピークは消失し, オーステナイト相の回折ピークの強度が増加した。各回折ピークは, Gauss-Newton法で波形分離し, 隣接するピークの強度補正を行い, マルテンサイトの002回折ピークとオーステナイトの110回折ピークとの強度比(M002/A110)を変態率の指標とした。全てのワイヤーについて, 相変態率は, 曲げ角度が小さいほど, また $A_f$ 点が高いワイヤーほど高い値を示した。 $A_f 16^\circ\text{C}$ ワイヤーと $A_f 22^\circ\text{C}$ ワイヤーでは, 試験温度の上昇に伴う相変態率の変化がほとんど見られなかった。しかし,  $A_f 37^\circ\text{C}$ ワイ

ヤーでは, 試験温度の上昇に伴い相変態率の顕著な低下が認められた。圧縮側における相変態率は, 引張側と比較して顕著に低い値を示し, マルテンサイト変態が抑制されていた。

## IV. 結 論

三種類の超弾性Ni-Ti合金ワイヤーについて, 示差走査熱量測定で変態挙動を調べ, さらに三点曲げ試験と微小領域X線解析測定を行い, たわみ負荷状態で環境温度を変えた場合における力学特性と相変態率の関連性を検討した。その結果, 以下のことが明らかとなった。

- 1) たわみ負荷過程の荷重(A点荷重)は,  $A_f$ 点が高いワイヤーほど低い値を示したのに対し, 相変態率(M002/A110)は, 引張側, 圧縮側ともに $A_f$ 点が高いワイヤーほど高い値を示した。
- 2) 試験温度の上昇に伴う荷重上昇率が低いワイヤーでは, 試験温度の上昇に伴う相変態率はほとんど変化しなかった。これに対し, 試験温度の上昇に伴う荷重上昇率が高いワイヤーでは, 試験温度の上昇に伴い相変態率が顕著の低下した。
- 3) 応力誘起マルテンサイト変態は, 圧縮応力によって抑制された。
- 4) 曲げ試験における張弾性特性は, 主に引張側の応力誘起マルテンサイト変態によって生じた。
- 5) 温度上昇に伴う矯正力の増大には, 次の二つの要因がある。①温度の上昇に伴って応力誘起マルテンサイト変態の臨界応力が増大する。②温度上昇によって熱弾性マルテンサイト逆変態が生じ, オーステナイト相が増大する。室温において超弾性(オーステナイト相)領域にあるワイヤーでは①の要因で, また形状記憶(マルテンサイト相)領域にあるワイヤーでは①と②の要因によって荷重が増大する。

## 学 位 論 文 審 査 の 要 旨

矯正用超弾性Ni-Ti合金ワイヤーは, 広く臨床で使用されており, 力学挙動や相変態については, 多くの研究がなされている。しかし, 力学挙動と相変態の直接的な関連については, 定量的な解析がほとんど報告されていない。そこで本研究では, 変態温度の異なる三種類のNi-Ti合金ワイヤーについて, 三点曲げ試験を行うとともに, 示差走査熱量測定と微小領域X線回折法で変態挙動を検討し, たわみ負荷状態で環境温度を変えた場合における荷重変動と相変態率の関係を定量的に明らかにした。

本研究を遂行するにあたって, その目的, 実験計画,

方法などいずれにおいても適切であると認められた。特に三点曲げ試験と微小領域X線回折の2つの測定において, 温度制御可能な装置を考案し, 異なる環境温度下での力学特性と相変態の関連性を検討した点は, 本研究の独創性として大いに評価できる。

本研究から得られた結果の要点としては, 変態点( $A_f$ 点)が高いワイヤーほど応力誘起マルテンサイト変態の臨界荷重が低い値を示した。また,  $A_f$ 点が高いワイヤーほどオーステナイト相に対するマルテンサイト相の相変態率(M002/A110)が高い値を示し, 応力誘起マルテンサイト変態の臨界荷重とM002/A110の間に相関が認め

られた。さらに、試験温度の上昇に伴う荷重上昇率が低いワイヤーでは、試験温度が上昇してもM002/A110はほとんど変化しなかった。これに対し、試験温度の上昇に伴う荷重上昇率が高いワイヤーでは、試験温度の上昇によってM002/A110が顕著に低下し、温度上昇による荷重上昇率とM002/A110の間に相関が認められた。

以上の結果から、温度上昇に伴う矯正力の増大には、次の二つの要因があることが明らかになった。①温度の上昇に伴って応力誘起マルテンサイト変態の臨界応力が増大する。②温度上昇によって熱弾性マルテンサイト逆

変態が生じ、オーステナイト相が増大する。従って、室温において超弾性（オーステナイト相）領域にあるワイヤーでは①の要因によって、また形状記憶領域にワイヤーでは①と②の要因によって荷重が増大することが明らかとなった。以上のごとく本研究では、超弾性Ni-Ti合金ワイヤーの力学挙動と相変態の関連性を定量的に解明できた。このことは、歯科矯正分野における材料科学の発展に寄与するところ大であり、よって歯学博士の学位授与に値するものと考えられる。

氏名・(本籍)	坂口也子(鹿児島県)
学位の種類	博士(歯学)
学位記番号	甲 第59号
学位授与の日付	平成10年3月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当(課程博士)
学位論文題目	鼻閉と食物咀嚼の相互関係について —特に鼻閉が咀嚼機能ならびに呼吸周期に及ぼす影響—
論文審査委員	主査 教授 五十嵐 清 治 副査 教授 平 井 敏 博 副査 助教授 太 田 勲

## 論文内容の要旨

### 緒 言

小児における慢性的な鼻疾患や口呼吸は、顎口腔系の諸器官の形態的ならびに機能的発育・発達に様々な弊害をもたらす事が知られている。最近、当講座の菅原は人為的な鼻腔閉塞時(鼻閉時)と正常時(非鼻閉時)における食物咀嚼の研究で、咀嚼期間中に分泌される唾液分泌量、および嚥下時食塊水分量は両者に差がなく、咀嚼時間は鼻閉時で延長することを認めた。さらに、この延長が筋放電時間の延長によるものではなく、放電間隔の延長によることを筋電図学的に確認した。しかし、鼻閉時における咀嚼時間の延長と呼吸との関係、さらには、鼻閉が咀嚼効率に及ぼす影響については明らかにされていない。

そこで本研究は、咬筋筋電図と呼吸曲線を同時に記録し、鼻閉が咀嚼機能と呼吸機能に及ぼす影響を検討した。

さらに、食物咀嚼に対する鼻閉の影響を定量化することを目的として、咀嚼時間を規定したときの咀嚼効率、咀嚼回数、ならびに食物嚥下時食塊水分量を測定し、正常時と鼻閉時について比較検討した。

### 被験者および方法

#### 1. 被 験 者

ボランティアの被験者は、鼻疾患ならびに顎口腔系に異常がなく、個性正常咬合を有する健康な成人9名(男子6名、女子3名、平均年齢 $25.6 \pm 2.5$ 歳)である。

#### 2. 方 法

##### 1) 咀嚼周期と呼吸周期の解析について

筋電図は咀嚼側の咬筋筋腹から導出し、呼吸曲線は呼吸ピックアップを胸部または腹部に装着して導出した。

測定項目は安静時、ガム咀嚼時、ならびにピーナッツ咀嚼時の呼吸周期時間、呼吸数、相対呼吸量について測